В работе ппривeдены оценка надежности путевых выключателей серии ВПК-1000 и ВПК-3000 при воздействии на них механического упора механизма станка.

УДК 621.316

В. П. Самошкин, канд. техн. наук,
Я. Б. Форкун, канд. техн. наук,
А. С. Чепурная
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОТКАЗЫ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТЕВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Введение. Как видно из Рис. 1 путевой выключатель, который используется для управления металлорежущим станком, состоит из множества мелких деталей каждая из которых влияет на надежность выключателя в целом.

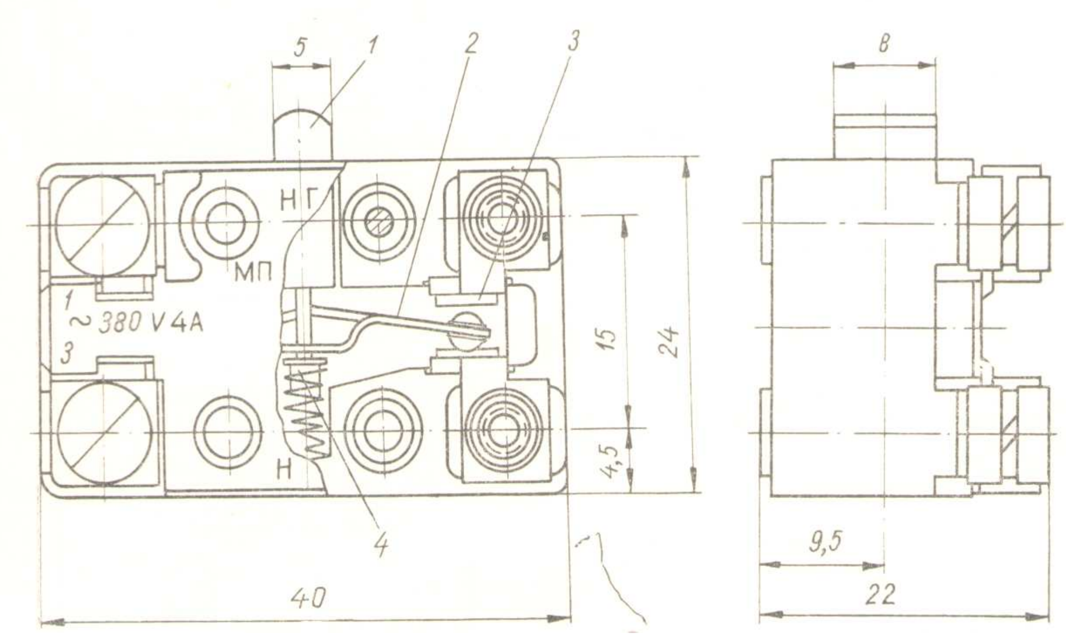


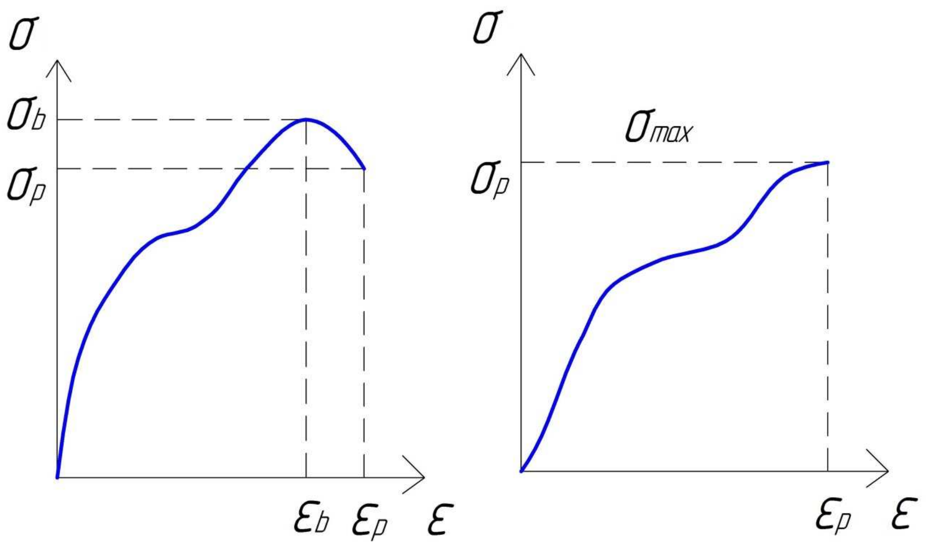
Рис. 1 - Выключатель серии ВПК-1000:
1-кнопка толкателя; 2-мостик; 3-неподвижные контакты; 4-возвратная пружина.

Теория надежности несущих элементов различных конструкций, предназначенных для работы в условиях значительных статических и динамических воздействий, базируется на теории прочности, сопротивлении материалов, теории упругости и других разделах механики. В теории надежности первостепенную роль играет правильное и четкое определение отказа, причем критерий отказа зависит от характерных условий эксплуатации и от назначения путевых выключателей. В нашем случае критерий отказа тесно связан с конкретными механическими процессами, развитие которых приводит к отказу конструкции путевых выключателей. При таком подходе удается более глубоко проникнуть в физику явления отказа из-за механических воздействий и использовать эти знания, чтобы предупредить развитие таких механических процессов, как резонансы, потери устойчивости, ложное срабатывание, разрушение и другие явления, которые в настоящее время лишь пассивно регистрируются, оставаясь вне анализа.

Изложение основного материала.

Наука об исследовании материалов на прочность имеет большую историю. Самым подробным образом исследованы и классифицированы свойства материалов. Многие материалы, попадающие в класс пластических, подчиняются закону, на Рис.2. Для других материалов область пластических деформаций отсутствует и разрушение наступает сразу после области упругих деформаций, которые при большой величине приложенных сил становятся нелинейными. Существенные особенности в прочностном поведении материалов проявляются при воздействии быстро меняющихся во времени динамических разовых нагрузок.

Хорошо известно, что даже тщательно изготовленные и специально отобранные образцы элементов механических конструкций значительно отличаются по своим прочностным качествам. Таким образом, при расчетах сопротивления материалов необходимо учитывать статистический характер свойств реальных объектов, так как при заданной величине нагрузки часть конструкций разрушится, а часть сохранит способность выполнять свои функции.



а) б)

Рис. 2 - Диаграммы растяжения пластического материала:

а) для $\upsilon = \frac{F}{S_0}$ (S_0 – первоначальное сечение образца);

б) для $\sigma = \frac{F}{S_\varepsilon}$ (S_ε –сечение в зоне образования шейки)

Если известно априорное распределение предела прочности – q конструкции, то вероятность неразрушения произвольно выбранного образца при одноразовом воздействии нагрузки Q, т.е. вероятность события Q<q, равна

$$P(Q) = \int_Q^\infty f_q(x)dx \tag{1}$$

где

$f_q(x) = \frac{d}{dx}\tau\{x \leq q\}$ - плотность распределения предела прочности конструкции. Разброс прочностных характеристик вызывается большим различных случайных факторов: неоднородностью материала, нестабильностью технологического процесса и т.д. Поэтому можно считать, что распределение предела прочности конструкции достаточно хорошо описывается нормальным законом (рис. 3), т.е. имеет плотность

$$f_q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_q}} exp\left\{-\frac{(x - M_q)^2}{2\sigma_q^2}\right\}$$

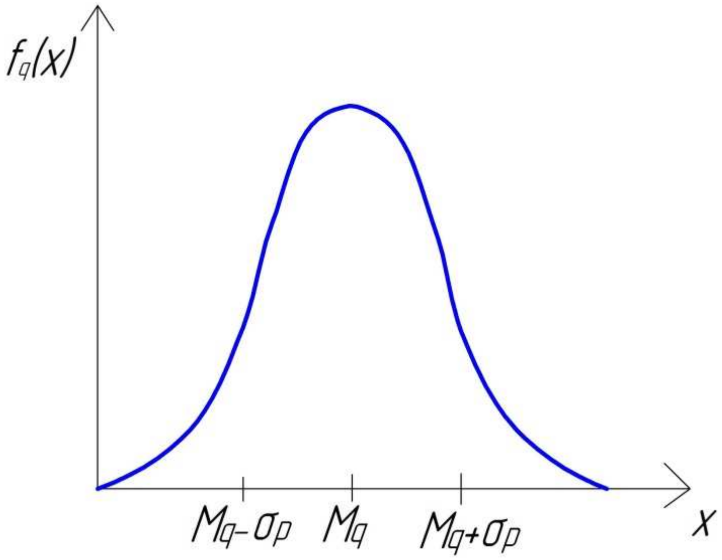


Рис. 3 - Закон распределения предела прочности

В этом случае вероятность $P(Q)$, являющуюся мерой надежности для данного простейшего процесса статического нагружения, через табулированную в широких пределах функцию нормального распределения Ф(x):

$$P(Q) = \Phi\left(\frac{-Q+M_q}{\sigma q}\right)=1\text{-}\Phi\left(\frac{-M_q+Q}{\sigma q}\right)$$

где M_q и $\sigma^2 q$ – математическое ожидание дисперсия соответственно. Кроме того для больших значений аргумента x можно записать хорошие двусторонние оценки Ф(x) вида, например,

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-t^2/2}\left(1 - \frac{1}{t^2}\right) < 1 - \Phi(t) < \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-t^2/2}$$

В более сложном случае, когда на механическую конструкцию воздействует одноразовая нагрузка случайной величины, с плотностью распределения

$$f_Q(x) = \frac{d}{dx}\tau\{x \le Q\}$$

По формуле полной вероятности для вероятности неразрушения можно записать

$$P = \int_Q^\infty p(x) f_Q(x) dx$$

где $p(x)$ в общем случае определяется по формуле (1), т.е.

$$P = \int_0^\infty \int_Q^\infty f_q(x) dx f_Q(x_1) dx_1.$$

Если Q – нормально распределенная случайная величина с плотностью

$$f_Q(x_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_Q}} exp\left\{-\frac{(x_1 - M_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right\}$$

то для вероятности неразрушения конструкции P при нормальном распределении величины q верно простое соотношение, основанное на том, что сумма нормальных величин имеет результирующее нормальное распределение с математическим ожиданием, равным сумме математических ожиданий, и с дисперсией, равной сумме дисперсий исходных случайных величин:

$$P = \Phi\left(\frac{-M_Q + M_q}{\sqrt{\sigma_q^2 + \sigma_Q^2}}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{-M_q + M_Q}{\sqrt{\sigma_q^2 + \sigma_Q^2}}\right)$$

где M_Q и σ_Q^2 – соответственно математическое ожидание и дисперсия случайной величины Q. Знак минус в числителе аргумента функции Φ стоит в силу того, что неравенство Q<q эквивалентно неравенству q-Q>0.

Рассмотрим задачу о зависимости вероятности разрушения от коэффициента запаса прочности. В этом случае надежность конструкции определяется как

$$\mathrm{P} = \Phi\left(\frac{M_q - M_Q}{\sqrt{\sigma_q^2 + \sigma_Q^2}}\right) = \Phi(n-1) \qquad (2)$$

где n – величина, которую удобно назвать статистическим запасом прочности.

Значения вероятности неразрушения (2) в зависимости от запаса прочности приведены на рис.4.

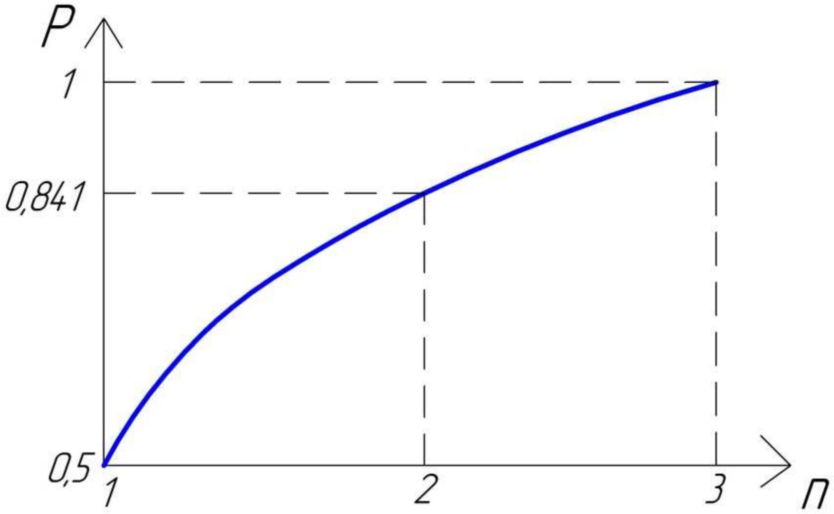


Рис. 4 - Зависимость надежности от запаса прочности

Рассмотренные случаи не содержат в явном виде времени, поскольку касаются статического одноразового приложения силы, однако фактор времени можно учесть, если рассмотреть поток ударов.

Длительное воздействие переменных нагрузок изменяет внутреннюю структуру материала, что приводит к разрушению материала конструкции даже при напряжениях, меньших предела упругости. Такое разрушение называется усталостным. Наука об усталости материалов в основном базируется на экспериментальных данных. Для образцов из определенного материала или, если позволяют условия эксперимента, то и для всей конструкции в целом строят так называемую диаграмму Велера (рис.5), на которой можно указать число циклов до разрушения m при заданной амплитуде σ и форме воздействующего напряжения.

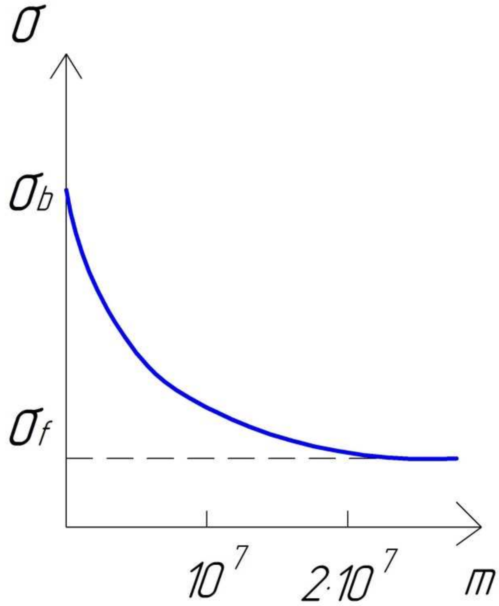


Рис. 5 - Диаграмма Велера

Вывод.

Метод Велера можно легко обобщить на случай, когда конструкция испытывает всевозможные флюктуации из-за случайных неоднородностей материала, случайных колебаний технологического процесса при изготовлении.

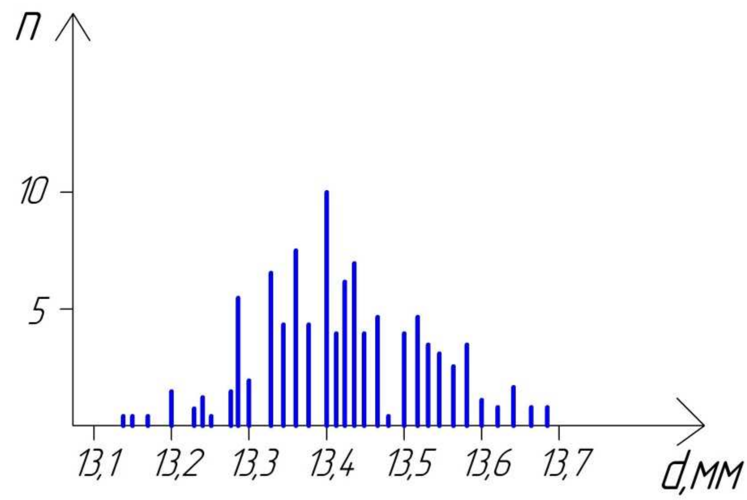


Рис. 6 - Гистограмма распределения заклепок по диаметру головок

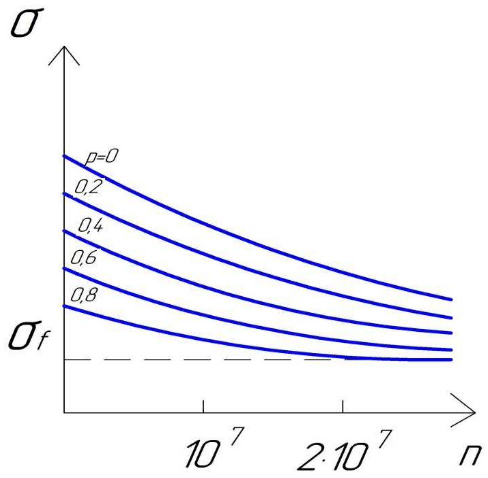


Рис. 7 - Диаграмма Велера для семейства образцов

Это обстоятельство иллюстрируется разбросом размера заклепок (рис.6). в результате обобщения метода Велера вместо одной кривой мы будем иметь семейство, а возле каждой кривой должна быть указана доля неразрушающихся – р конструкций при данной σ и данном числе циклов n (рис.7). Таким образом, удается включить в рассмотрение статистические данные. Дальнейшее обобщение метода Велера на случай произвольной нагрузки уже не столь тривиально.

Литература

1. Жалдак М.І., Кузьміна Н.М., Берлінська С.Ю. Теорія ймовірностей і математична статистика з елементами інформаційної технології.-К.: Вища школа, 1990р.
2. Коваленко И.Н., Гнеденко Б.В. Теория вероятностей.- К.: Высш. шк.,1990г.
3. Шторм Р. «Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества». Перевод с немецкого под редакцией Н.С. Райбман. Издательство «Мир», 1970г.
4. Гурман В.Е. Теория вероятностей математическая статистика – М.: Высш. шк., 2002г.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М.: «Наука», 1969г.
6. Румшинский Л.З. «Математическая обработка результатов эксперимента». Издательство «Наука», 1971г.
7. Ширяев А.Н. «Статистический последовательный анализ». Издательство «Наука»,1969г.

МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ І ВІДМОВИ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ПУТНІХ ВИМИКАЧІВ

В. П. Самошкин, Я. Б. Форкун, А. С. Чепурная

У роботі наведена оцінка надійності путніх вимикачів серії ВПК-100 і ВПК-3000 при дії на них механічного упору механізму станка.

MECHANIC PROCESSS AND REFUSES OF DETAILS CONSTRUCTION OF THE GROUND SWITCHES

V. Samoshkin, Y. Forkyn, A. Chepurnaia

In this work the estimation of reliability of the ground switches of series of VPK-1000 and VPK-3000 is rotined at influence on them of mechanical support of mechanism of machine-tool